

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОТИТАНИСТЫХ И ВЫСОКОТИТАНИСТЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО СХЕМЕ «ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ–КОНВЕРТЕР»

Петухов Р.В. \*, Дмитриев А.Н. \*\*, Витькина Г.Ю. \*\*, Чесноков Ю.А. \*\*

\*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

\*\*Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

В лабораторных условиях получены железорудные окатыши из низко- и высокотитанистого концентратов ОАО «ЕВРАЗ КГОК», также в лабораторных условиях методом восстановления получены чугуны и шлак, изучена их структура. Методом математического моделирования с использованием балансовой логико-статистической модели доменного процесса показана возможность переработки этих концентратов по схеме «доменная печь – конвертер». При этом при доменной плавке низкотитанистого концентрата показатели принципиально не отличаются от существующих в настоящее время (в условиях ОАО «ЕВРАЗ НТМК»). При доменной плавке высокотитанистого концентрата ожидаются технико-экономические показатели, приближающиеся к показателям доменной плавки железорудного концентрата собственно Качканарского месторождения. В частности, содержание  $TiO_2$  в доменном шлаке ожидается на уровне 15 % вместо 10 % в настоящее время. Такая технология доменной плавки в настоящее время в России не освоена и требует дополнительных усилий по ее внедрению на ОАО «ЕВРАЗ НТМК».

Ключевые слова: титаномagnetит, окатыши, металлургическая переработка, свойства, доменная плавка, математическое моделирование.

*In vitro pellets from low- and high titanium concentrates (ore from the JSC «EVRAZ KGOK») are received. Also in vitro pig-iron and slag are received by the reduction method, the microstructure is studied. The method of mathematical modelling using the balance logic statistical model of blast furnace process demonstrates possibility of the concentrates processing by schema «blast furnace – converter». Thus technical and economical parameters of blast furnace smelting of low titanium raw material are not differing principally from existing now (in the conditions of the JSC «EVRAZ NTMK»). Technical and economical parameters of blast furnace smelting of high titanium raw material are approximating to indexes of blast furnace smelting of an iron-ore concentrate of actually Kachkanarsky deposit. In particular, content of  $TiO_2$  in slag is expected at level of 15 % instead of 10 % now. Such technology of blast furnace smelting in Russia is not mastered and will demand additional forces on its implementation on the JSC «EVRAZ NTMK».*

*Keywords: titanomagnetite, pellets, metallurgical processing, properties, blast furnace smelting, mathematical modelling.*

В целях предварительной оценки возможности пирометаллургической переработки руд собственно Качканарского месторождения была поставлена задача раздельной переработки минеральных разновидностей руды Гусевгорского месторождения в лабораторных условиях. Для испытаний процесса магнитного обогащения отобраны две пробы, представляющие минеральные разновидности руды Гусевгорского месторождения – малотитанистая и нормальнотитанистая [1].

Малотитанистая проба руды отобрана в западном карьере, проба названа низкотитанистой. Нормальнотитанистая проба руды отобрана в центральном карьере, проба названа высокотитанистой. В лабораторных условиях получены окатыши из высокотитанистого (ВТ) и низкотитанистого (НТ) концентрата Гусевогорского месторождения. Химический состав проб представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых окатышей

Проба	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe	MnO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ВТ	3,25	0,75	1,21	3,72	60,36	0,21	2,51	2,83
НТ	2,13	0,76	0,83	2,63	63,26	0,159	1,35	2,58

В лабораторной печи Таммана проведена разделительная плавка на чугун и шлак в графитовом тигле с добавлением коксика 16 %, скорость нагрева 10 °С/мин, температура плавления 1450 °С, выдержка 5 мин. Составы полученных чугунов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав выплавленных чугунов

Чугун	Содержание, %				
	C	Mn	V	S	Ti
ВТ	5,51	1,30	0,434	0,012	0,264
НТ	5,57	1,10	0,320	0,019	0,216

Химический состав шлаков представлен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав шлаков, полученных при плавке высокотитанистых и низкотитанистых окатышей

Плавка	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ВТ	14,56	0,20	17,87	24,50	5,09	1,79	16,81	18,71
НТ	9,85	0,20	26,25	23,80	0,56	0,87	13,12	15,55

Для выяснения фазовых составляющих чугуна и шлака использовали метод рентгенофазового анализа. Методика съемки: съемка образцов проводилась на рентгеновском дифрактометре марки XRD 7000 (фирма SHIMADZU) с автоматическим программным управлением, с использованием CuKα –излучения и графитового монохроматора. Идентификацию фаз проводили на основе базы данных PDF2 (ICDD).

На дифрактограммах (рис. 1, 2) показаны условными обозначениями присутствие следующих фаз в полученных чугунах: Fe<sub>3</sub>C (составляет основу чугунов плавки ВТ и НТ); Fe (металлическое) и C (графит).

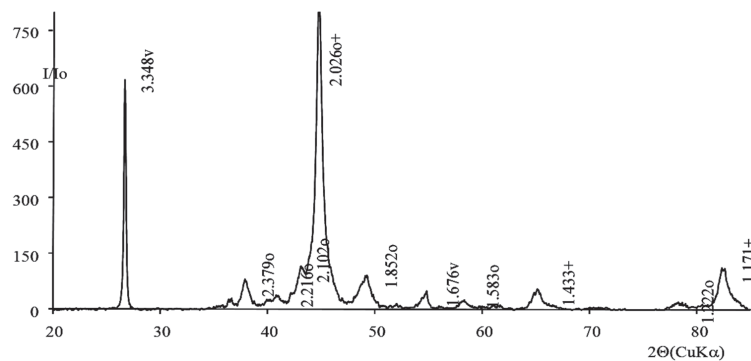


Рис. 1. Дифрактограмма чугуна ВТ: о –  $\text{Fe}_3\text{C}$ ; + – Fe (металлический); v – C (графит)

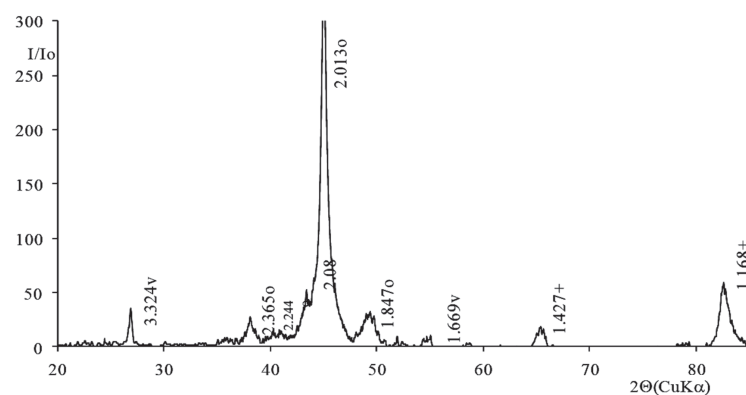


Рис. 2. Дифрактограмма чугуна НТ: о –  $\text{Fe}_3\text{C}$ ; + – Fe (металлический); v – C (графит)

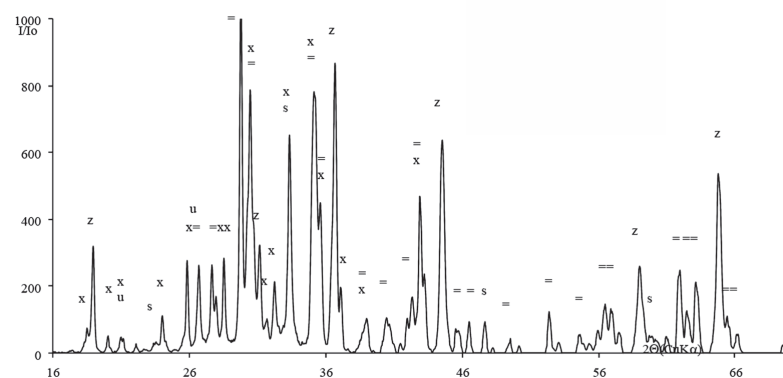


Рис. 3. Дифрактограмма шлака ВТ:  
z –  $\text{Mg}(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_4$  (структура шпинели); = –  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  (диопсид); s –  $\text{CaTiO}_3$ ; u –  $\text{SiO}_2$  (кварц); x –  $\text{Ca-Mg-Fe-Si-O}$

В плавке ВТ увеличена интенсивность пиков графита, т. е. его содержание в пробе больше по сравнению с плавкой НТ. Фазовый состав шлаков показан на рис. 3 и рис. 4.

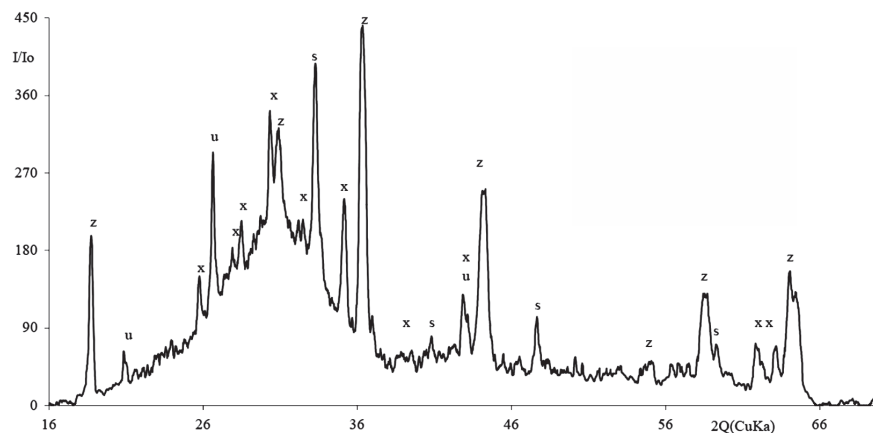


Рис. 4. Дифрактограмма шлака НТ:  
z –  $\text{Mg}(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_4$  (структура шпинели); s –  $\text{CaTiO}_3$ ; u –  $\text{SiO}_2$  (кварц); x –  $\text{Ca-Mg-Fe-Si-O}$

В шлаке ВТ основной фазой является силикат  $\text{Ca}, \text{Mg} - \text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  (диопсид) и фаза со структурой шпинели  $\text{Mg}(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$ . Также присутствуют  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  (кварц) и железо, магнийсодержащий силикат сложного состава  $\text{Ca}_4(\text{Mg}_{4,9}\text{Fe}_{8,7}\text{Si}_{10,4})\text{O}_{40}$ .

Дифрактограмма шлака НТ имеет значительные различия в формировании фаз. Основу пробы составляет шпинельная структура  $\text{Mg}(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$ . Наблюдается образование стеклообразной фазы (гало в области углов  $2\theta = 18-40^\circ$ ). В этом шлаке не обнаружены рефлексы диопсида. Как и в шлаке ВТ, присутствуют более четко фазы:  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  (кварц) и железо, магнийсодержащий силикат сложного состава  $\text{Ca}_4(\text{Mg}_{4,9}\text{Fe}_{8,7}\text{Si}_{10,4})\text{O}_{40}$ .

Микроструктура высокотитанистого чугуна изучена и представлена на рис. 5, 6.

Многолетний опыт работы доменных печей различного объема ОАО «ЕВРАЗ НТМК» показал, что рекомендуемое (оптимальное) содержание оксида титана в доменном шлаке – 9,5–10,5 %. При таком содержании  $\text{TiO}_2$  образование нитридов, карбонитридов, оксикарбонитридов титана ограничено, доменный шлак является достаточно жидкотекучим.



×100 (середина)



×100 (край)

Рис. 5. Микроструктура чугуна ВТ, нетравленного с неравномерно распределенным пластинчатым графитом игольчатой формы длиной 180 мкм



×100 (середина)



×100 (край)

Рис. 6. Микроструктура чугуна НТ, нетравленого с равномерно распределенным пластинчатым графитом игольчатой формы длиной 45 мкм

С помощью математической модели [2] выполнены расчеты состава сырьевых материалов для доменной плавки – агломерата и окатышей из высокотитанистого концентрата (рис. 7), а также показателей доменной плавки этих материалов для условий доменной печи объемом 2200 м<sup>3</sup> ОАО «ЕВРАЗ НТМК». Содержание оксида титана в доменном шлаке по расчету составит 14,82 %. Таким образом, данный состав доменного шлака далеко выходит за пределы освоенного режима на ОАО «ЕВРАЗ НТМК».

Химсостав, %											
Fe общ :	55,84	NiO :	0,00	FeS :	0,00	Fe мет :	0,00	Ni :	0,00	FeS2 :	0,00
FeO :	9,40	V2O5 :	0,65	ZnO :	0,00	CaO :	8,18	Cr2O3 :	0,02	CO2 са :	0,00
MgO :	2,84	Cr :	0,00	CO2 mg :	0,00	SiO2 :	3,72	MnO :	0,00	CO2 mn :	0,00
TiO2 :	3,18	MnO2 :	0,00	Лет :	0,00	Al2O3 :	2,64	P2O5 :	0,02	С нел :	0,00
R2O :	0,00	SO3 :	0,00	H2O хим :	0,00	CuO :	0,00	S орг :	0,00	H2O физ :	0,00
Основности: 2,20											
Сумма : 100,00											
Грансостав, %											
+80	80-60	60-40	40-25	+80	80-60	60-40	40-25	+80	80-60	60-40	40-25
1,50	1,50	2,50	12,00	1,50	1,50	2,50	12,00	1,50	1,50	2,50	12,00
25-15	15-10	10-5	5-0	25-15	15-10	10-5	5-0	25-15	15-10	10-5	5-0
22,50	21,50	33,43	5,07	22,50	21,50	33,43	5,07	22,50	21,50	33,43	5,07
Сумма : 100,00											
Металлургические свойства											
W лаб	Б гор	Б хол	потери	W лаб	Б гор	Б хол	потери	W лаб	Б гор	Б хол	потери
77,00	40,00	73,80	2,00	77,00	40,00	73,80	2,00	77,00	40,00	73,80	2,00
T нач	T разм	T плав	Насып. вес	T нач	T разм	T плав	Насып. вес	T нач	T разм	T плав	Насып. вес
25,00	1153,00	1266,00	1,65	25,00	1153,00	1266,00	1,65	25,00	1153,00	1266,00	1,65

1

Химсостав, %											
Fe общ :	61,88	NiO :	0,00	FeS :	0,00	Fe мет :	0,00	Ni :	0,00	FeS2 :	0,00
FeO :	3,00	V2O5 :	0,67	ZnO :	0,00	CaO :	1,18	Cr2O3 :	0,02	CO2 са :	0,00
MgO :	1,92	Cr :	0,00	CO2 mg :	0,00	SiO2 :	2,39	MnO :	0,00	CO2 mn :	0,00
TiO2 :	3,23	MnO2 :	0,00	Лег :	0,00	Al2O3 :	2,48	P2O5 :	0,02	С нел :	0,00
R2O :	0,00	SO3 :	0,01	H2O хим :	0,00	CuO :	0,00	S орг :	0,00	H2O физ :	0,00
Основности: 0,49				Сумма : 100,00							
Грансостав, %											
+80	80-60	60-40	40-25	+80	80-60	60-40	40-25	+80	80-60	60-40	40-25
0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50
25-15	15-10	10-5	5-0	25-15	15-10	10-5	5-0	25-15	15-10	10-5	5-0
11,00	70,00	15,47	3,03	11,00	70,00	15,47	3,03	11,00	70,00	15,47	3,03
Сумма : 100,00				Сумма : 100,00							
Металлургические свойства											
W лаб	Б гор	Б хол	потери	W лаб	Б гор	Б хол	потери	W лаб	Б гор	Б хол	потери
80,00	86,00	92,90	2,00	80,00	86,00	92,90	2,00	80,00	86,00	92,90	2,00
T нач	T разм	T плав	Насып. вес	T нач	T разм	T плав	Насып. вес	T нач	T разм	T плав	Насып. вес
25,00	1180,00	1370,00	1,70	25,00	1180,00	1370,00	1,70	25,00	1180,00	1370,00	1,70

2

Рис. 7. Расчетный состав агломерата (1) и окатышей (2):  
1 – высокоосновной (2,2), высокотитанистый (ВТ) агломерат, 2 – высокотитанистые (ВТ) окатыши

Важно отметить, что содержание диоксида титана в доменном шлаке 14,82 % с точностью до десятой доли процента соответствует предполагаемому содержанию диоксида титана в доменной плавке окучкованного сырья из руды собственно Качканарского месторождения. Следовательно, предположение о соответствии высокотитанистой пробы руды Гусевгорского месторождения руде собственно Качканарского месторождения является верным. Проведенная работа с пробами руд, полученными в результате раздельной добычи руды, позволит разработать технологии переработки титаносодержащих руд перспективных месторождений России.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИМЕТ УрО РАН по теме № 0396-2014-0008.*

#### **Список использованных источников**

1. Dmitriev A.N. The Characteristic of Ores and Concentrates of the Open Society "EVRAZ KGOK" / A.N. Dmitriev, G.Yu. Vitkina, R.V. Petukhov, S.V. Kornilov, A.E. Pelevin, A.Ya. Fishman, T.V. Sapozhnikova, K.Yu. Shunyaev // *Advanced Materials Research*. – 2014. – V. 834–836. – P. 364–369. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.364.
2. Ченцов А. В. Балансовая логико-статистическая модель доменного процесса / А.В. Ченцов, Ю.А. Чесноков, С.В. Шаврин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 164 с.